

## Resumo

Constitui objectivo deste trabalho a análise estática e dinâmica de estruturas reticuladas planas em micro-computador.

De entre as acções dinâmicas correntes assume particular importância, no domínio da engenharia civil, a acção sísmica, motivo pelo qual foi objecto de tratamento especial.

A implementação prática e consequentemente a divulgação efectiva dos processos de análise dinâmica, tem estado em parte condicionada pela reduzida capacidade dos meios de cálculo de que dispõem a grande maioria dos projectistas de estruturas.

A rápida evolução que se verificou no campo dos micro-computadores nos últimos anos, com significativos aumentos de capacidade e rapidez e diminuição de custo faz com que neste momento seja possível modificar aquela situação, divulgando e implementando processos de análise dinâmica em micro-computador que de toda a maneira devem ter em consideração as características destes.

Acresce ainda que com a entrada em vigor do Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes, Decreto-Lei nº 235/83, e a correspondente legislação específica para estruturas de betão armado e metálicas, a análise dinâmica assume um carácter quase obrigatório para grande parte das estruturas, senão legal, pelo menos tecnico-económico [9, 11].

Na análise das estruturas a acção sísmica - com características marcadamente dinâmicas - assume papel relevante pois condiciona a sua concepção e dimensionamento, [11] e a sua não consideração de modo correcto pode levar a soluções deficientes sob o ponto de vista da segurança.

Nesta dissertação apresentar-se-ão programas de cálculo através dos quais se faz a análise dinâmica e estática de estruturas.

A análise de uma estrutura consiste fundamentalmente na determinação do campo de deslocamentos e tensões produzidos na estrutura por um conjunto de acções exteriores, pressupondo certas condições de fronteira. Com vista a proceder a esta análise é necessário constituir um modelo matemático da estrutura sobre o qual se possa operar numericamente - através do computador - por forma a obter um conjunto de resultados, normalmente os deslocamentos.

No método dos elementos finitos [1,7] procede-se a uma divisão do domínio da estrutura em vários sub-domínios tipo elementos, ao nível dos quais é possível fazer intervir relações geométricas e relações constitutivas do material da estrutura e estabelecer uma relação entre as acções aplicadas e os deslocamentos da estrutura. É possível definir estas relações para o elemento finito a ser considerado de tal modo que a estrutura inicial possa ser reconstituída pela sua associação. O método dos elementos finitos constitui um processo adequado para efeito da resolução de problemas de estruturas que se pretende que sejam tratadas de modo genérico e sistemático nomeadamente por micro-computador. A maior parte das estruturas pode ser analisada por recurso a este método, poderoso e versátil, bastando para tal escolher o elemento ou elementos finitos adequados.

No âmbito deste trabalho, dado que se pretende analisar estruturas reticuladas planas, considerou-se um elemento finito de viga quadrático de três nós [6,12] e também um elemento finito de viga binodal [13] formulado com base na teoria clássica das vigas.

As acções necessitam também de ser modeladas numericamente, e de acordo com as suas características poderão ser estáticas ou dinâmicas [2].

A necessidade de consideração de acções dinâmicas resulta da existência de fenómenos dependentes do tempo em grandeza, direcção e ou posição, de modo significativo, que não podem ser representados por acções estáticas. Isto é se as acções são aplicadas à estrutura de modo impulsivo e ou oscilatório os pontos da estrutura deslocam-se com velocidade apreciável. Nestas circunstâncias as chamadas forças de inércia passam a ser relevantes para efeito da análise da estrutura.

Dum modo geral a modelização das acções, constituição de um vector de forças em correspondência com os deslocamentos incógnitos, pode ser feita de modo simples por considerações geométricas e de equilíbrio e directamente a partir das suas definições regulamentares.

O modelo estabelecido para a acção sísmica dada a sua complexidade e o facto de não poder, para o método de resolução das equações de equilíbrio que abaixo se refere, ser extraído directamente do R.S.A., será objecto de tratamento diferenciado em Capítulo próprio.

A relação entre as acções aplicadas e os deslocamentos da estrutura, estabelecida pelo método dos elementos finitos, constitui um conjunto de equações, em que as acções intervêm em correspondência com os deslocamentos incógnitos e portanto de modo adequado a serem tratadas na análise.

Aquelas equações diferem no caso estático e dinâmico, pelo facto de neste ultimo caso terem de ser tidas em consideração forças de inércia, dependentes da aceleração, do amortecimento e da velocidade.

A resolução do sistema de equações de equilíbrio - determinação do conjunto de deslocamentos nodais de referência que representam o campo dos deslocamentos - constitui sob o ponto de vista prático um aspecto muito relevante da análise, devido a grande quantidade de trabalho de cálculo numérico envolvido.

Este aspecto torna-se particularmente importante quando, como no âmbito deste trabalho, se pretende tirar partido de meios de calculo numérico de capacidade limitada como é o caso dos micro-computadores.

O método de resolução das equações de equilíbrio dinâmico, designado método das diferenças centrais, [7] permite ter em conta este último aspecto, já que, sob estas condições, estabelece a determinação dos deslocamentos nodais ao longo do tempo sem recorrer à inversão de matrizes e portanto simplificando e tornando mais rápido o calculo numérico.

De modo resumido este método consiste em substituir a velocidade e aceleração que aparecem nas equações de equilíbrio dinâmico, em cada instante, pelas correspondentes expressões em diferenças

finitas, em função dos deslocamentos em instantes próximos e deste modo constituir um algoritmo que vai permitir conhecer ao longo do tempo aquelas grandezas, para as quais se supõe determinadas condições iniciais.

O presente trabalho pode ser dividido em três partes. A primeira, constituída pelos capítulos 2, 3 e 4 é destinada à formulação das equações de equilíbrio dinâmico [7], estabelecimento dos métodos para a sua resolução [7], e tratamento do caso especial da acção sísmica [5], a segunda que inclui os capítulos 5 e 6 é dedicada a apresentação dos programas elaborados para a geração temporal da acção sísmica, e análise estática e dinâmica de estruturas planas; a terceira constituída pelos capítulos 7 e 8 tem em vista apresentar aplicações práticas dos métodos de análise e as conclusões do trabalho.

No Capítulo 2 apresenta-se uma descrição geral do método dos elementos finitos, e sua aplicação à formulação das equações de equilíbrio dinâmico. As matrizes de massa e rigidez dos elementos de viga utilizados são formuladas ou apresentadas. São descritas as componentes do modelo da estrutura, matriz de massa, matriz de amortecimento e matriz de rigidez globais. É feita uma formulação geral para o modelo das acções.

No Capítulo 3 procede-se à análise dos métodos de solução das equações de equilíbrio dinâmico. O método das diferenças centrais, já referido, e descrito pormenorizadamente. Devido à sua importância prática e relacionamento com o método das diferenças centrais, são referidos embora de modo resumido o método da sobreposição modal e o método de Rayleigh.

No Capítulo 4 faz-se a descrição e relacionamento dos modelos utilizados na descrição da acção sísmica, precedidas de algumas noções de base sobre sismologia. Apresenta-se ainda o suporte teórico necessário à geração matemática artificial de acções sísmicas, e uma reformulação das equações "de equilíbrio dinâmico adequada à consideração daquelas acções, bem como uma abordagem dos problemas relativos à análise não-linear.

No Capítulo 5 apresenta-se o programa SISTE desenvolvido com vista a geração artificial matemática de acções sísmicas, que se pretendem definidas no domínio da frequência, apresentam-se ainda algumas aplicações deste programa.

O Capítulo 6 é dedicado à descrição do programa ADICEN desenvolvido no micro-computador Apple IIC com vista à formação dos modelos da estrutura e acção, e à análise daquela pelo método das diferenças centrais.

No Capítulo 7 apresenta-se e discutem-se os resultados numéricos relativos a algumas estruturas a que foi aplicado o processo de calculo automático anteriormente descrito.

No Capítulo 8 sistematizam-se e apresentam-se as conclusões mais relevantes que foi possível extrair no decorrer do estudo e resolução dos exemplos.